

**Наукові та практичні проблеми виробництва приладів та систем**

<p>Сильвестров А.М., Гришко В.Ф., Кудин Ю.П. <b>Алгоритм определения электрического сопротивления и ёмкости растворов с диэлектрическими свойствами.</b></p> <p>В данной статье описываются основные концепции определения физико-химических параметров жидкости, и проблемы, которые при этом возникают. Уделяется внимание необходимости комбинировать разные методы определения параметров растворов с диэлектрическими свойствами. Особенное внимание уделяется описанию и выводу нового метода измерения емкости и сопротивления жидкости.</p>	<p>Silvestrov A.M., Grishko V.F., Kudin Y.P. <b>Finding of electric resistance and capacities of liquids with dielectric properties.</b></p> <p>Basic conceptions of determination of physical and chemical parameters of liquid, and problems which arise up here, are described in this article. Attention of necessity to combine different methods is spared. The special attention is spared to description and leading to of the new method measuring of capacity and resistance of liquid.</p>
---	---

Надійшла до редакції  
4 березня 2007 року

УДК 621.375

## ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ЛІНІЙНИХ ПРЕЦИЗІЙНИХ НАПРАВЛЯЮЧИХ

*Бело́ва А.В., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут” м. Київ, Україна*

*Робота присвячена розробці методики вимірювання кутових переміщень Pitch та Yaw, які виникають при лінійному переміщенні вздовж осі переміщення лінійних прецизійних направляючих мікроманіпуляторів. При вимірюванні таких переміщень використовували систему на основі автоколіматора, спряженого з телевізійною камерою. Отримані залежності кутових відхилень Pitch та Yaw від величини переміщення для лінійних направляючих мікроманіпуляторів*

### Вступ

Розвиток сучасного приладобудування неможливий без створення приладів та методик формування та керування рухом у нанопросторі, що вимагає нових методів та підходів до контролю точності переміщень. Так, використання прецизійних лінійних направляючих, наприклад, в оптичних системах при стабілізації периметра лазера, мікроманіпуляційних системах клітинних технологій, в технологічних процесах обробки типових мікромехнічних компонентів, в технологіях фотолітографії тощо, ставить жорсткі умови до точності мікро- та нанопереміщень, які здійснює лінійна направляюча в процесі роботи [1, 2].

Нанопереміщення - це комплексний параметр, до складу якого входять як лінійні, так і кутові переміщення в діапазоні кутових секунд. Отже, критичні вимоги є не тільки до параметрів лінійних переміщень, а й до параметрів супутніх кутових переміщень. Кутові переміщення, так звані динамічні захили, – пара-

метр, що обов'язково виникає під час лінійного руху направляючої і може вносити в систему, до складу якої входить лінійна направляюча, критичні похибки. Причинами виникнення таких захилів можуть бути люфти, тертя тощо [3].

Такі небажані динамічні кутові захили дуже небезпечні при проведенні точних і надточних робіт, наприклад, з живою клітиною, оскільки вимірювальна головка чи носик голки або піпетки далеко виступають за систему направляючої і навіть невеликі її зміщення та відхилення можуть сильно вплинути на точність проведення операції, що може призвести до пошкодження клітини [4].

Отже, точність переміщень є важливим параметром позиціонування мікро- та нанооб'єктів і визначається точністю лінійних і кутових переміщень. Традиційно контроль переміщень зосереджений в основному на вимірюванні лінійних переміщень вздовж осі переміщення, при цьому зовсім не береться до уваги вимірювання кутових переміщень, які виникають в процесі лінійного переміщення і цим самим призводять до зниження точності переміщення та позиціонування. Тому проблема розробки методик вимірювання як безпосередньо переміщень вздовж осі переміщення, так і кутових переміщень є актуальною.

**Метою** даною роботи є висвітлення результатів досліджень виконаних при створенні методичного та технічного забезпечення вимірювання кутових переміщень лінійних прецизійних направляючих з п'єзоелектричним двигуном.

### **Викладення основної частини**

Для перевірки лінійних направляючих на прямолінійність ходу найчастіше використовують два способи контролю [5]. Перший спосіб базується на використанні лекальної лінійки та індикатора, а другий – передбачає використання автоколімаційної зорової труби та дзеркала. Ці методи не дозволяють проводити контроль точності направляючих в динамічному режимі безпосередньо під час руху направляючих для визначення динамічних кутових захилів, як на всьому діапазоні переміщення, так і на маленьких відстанях.

Представлена в роботі методика контролю лінійних направляючих з п'єзоелектричним двигуном на прямолінійність ходу за допомогою електронного оптичного автоколіматора [6], дозволяє визначити кутові переміщеннями Pitch ( $\theta_y$ ) та Yaw ( $\theta_z$ ) [3]. Так, Pitch ( $\theta_y$ ) – кут розвороту направляючої при переміщенні вздовж осі X навколо координати Y, кут Yaw ( $\theta_z$ ) – кут розвороту направляючої при переміщенні координати X навколо координати Z (рис. 1).

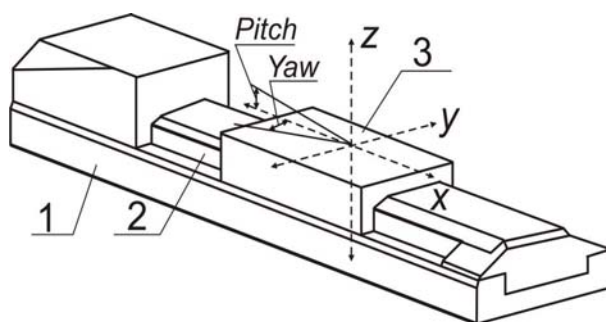


Рис. 1. Схема прецизійної лінійної направляючої, де:

1 – корпус; 2 – направляючий вал;  
3 – рухомий столик.

Для вимірювання кутових переміщень Pitch ( $\theta_y$ ) та Yaw ( $\theta_z$ ) розроблена спеціальна установка автоколімаційного контролю на базі електронного оптичного автоколіматора.

Схема експериментальної установки для вимірювання кутових переміщень направляючої з п'єзоелектричним двигуном та її загальний вигляд приведені на рис. 2.

Вимірювання кутів відхилення виконується за допомогою телевізійної камери, яка спряжена з автоколіматором 2, точність вимірювання кутового позиціонування якого складає 0,5 кутових секунд. На тій самій основі закріплено прецизійну лінійну направляючу 4 з п'єзоелектричним двигуном 10 та датчиком лінійних переміщень 9.

На рухливому столику 5 направляючої 4 закріплено плоско-паралельне дзеркало 6. Переміщення направляючої задавали за допомогою комп'ютеризованого комплексу через контролер 8. Дані з автоколіматора, через телевізійну камери надходили для обробки на комп'ютер 7.

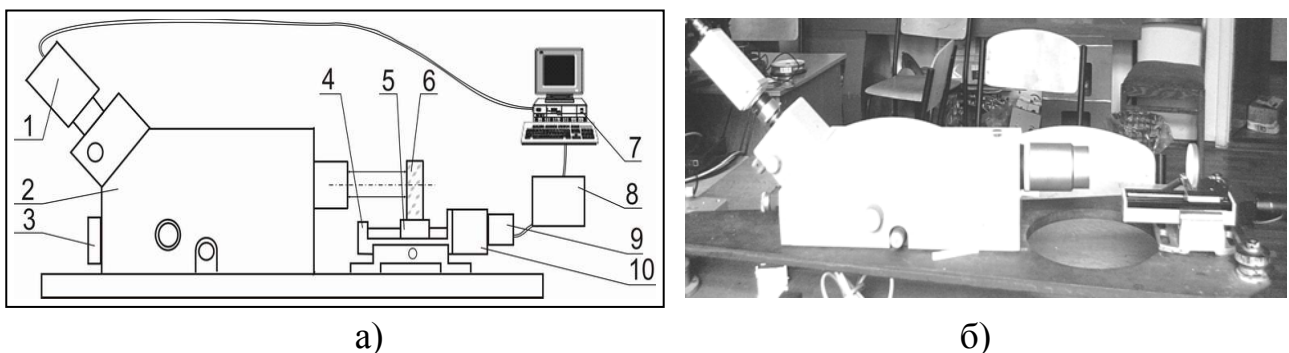


Рис. 2. Схема експериментальної установки для вимірювання кутових переміщень (а) та її загальний вигляд (б), де:

1 – телевізійна камера; 2 – автоколіматор; 3 – освітлювач; 4 – лінійна направляюча; 5 – рухливий столик; 6 – дзеркало; 7 – комп'ютер; 8 – контролер; 9 – датчик лінійних переміщень; 10 – п'єзоелектричний двигун.

Система юстується таким чином, щоб нормаль до дзеркальної поверхні співпадала з оптичною віссю автоколіматора. При цьому нуль встановлюється так, щоб світловий пучок відбитий від дзеркала знаходився точно в центрі координатної системи поля автоколіматора.

При переміщенні направляючої вздовж осі руху під дією п'єзоелектричного двигуна, дзеркало переміщується перпендикулярно нормалі автоколіматора. При цьому в полі автоколіматора спостерігається відхилення світлового пучка (хреста) від нуля автоколіматора.

Ці відхилення зумовлені наявністю в системі похибок внаслідок кутових динамічних захилів Pitch ( $\theta_y$ ) та Yaw ( $\theta_z$ ). Так Pitch ( $\theta_y$ ) відповідає за відхилення по осі Y, а Yaw ( $\theta_z$ ) – по осі X (рис. 3.).

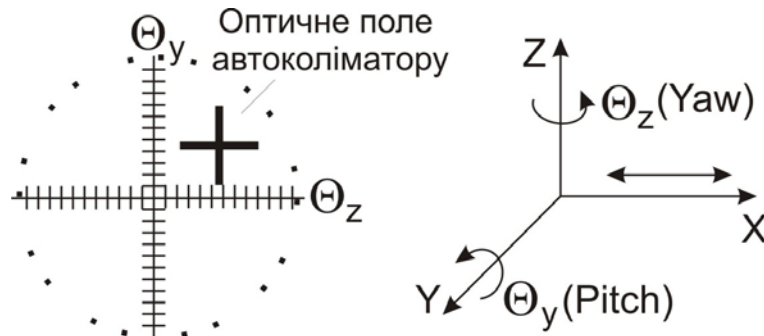


Рис. 3. Вимірювання параметрів кутового руху

### Обробка результатів вимірювання

Для вимірювання динамічних кутових захилів задавали програму руху на всьому робочому діапазоні за допомогою програмного забезпечення та контролера переміщень лінійної направляючої. При цьому направляюча виконувала реверс і поверталась в початкове положення.

Відхилення направляючої від прямолінійності ходу в прямому та зворотному напрямку фіксували за допомогою автоколіматора, телевізійної камери та комп'ютера. На рис. 4 приведені залежності кутових відхилень від переміщення направляючої з п'єзоелектричним двигуном.

Як видно з наведених графіків рухливий столик під час лінійного переміщення здійснює коливання навколо своєї осі, при цьому захиляючись вгору або вправо. Максимуми і мінімуми на графіках означають різкий захил голки вгору-вниз (Pitch) або вліво-вправо (Yaw).

Величини таких кутових переміщень на рухливому столику направляючої складають одиниці кутових секунд. При проведенні відповідного перерахунку з кутових величин в лінійні значення, отримаємо лінійні переміщення порядку десятків нанометрів. Але, якщо врахувати той факт, що голка, яка знаходиться на тримачі виходить досить далеко за межі системи направляючої (порядку 100 мм), то переміщення на її кінці будуть мати суттєві значення. Так, наприклад, при зміщенні рухливого столику на 4 кутові секунди, лінійне зміщення носика голки (довжиною 5 см) буде дорівнювати – 0,97 мкм. Це небезпечна ситуація, оскільки при проведенні мікрооперацій з клітиною в такій області робочого діапазону направляючої можна пошкодити біологічний об'єкт.

Запропонована методика вимірювання кутових переміщень лінійних прецизійних направляючих дозволяє проводити високоточні безперервні вимірювання кутових переміщень та відхилень на малих дистанціях безпосередньо в процесі руху. Наприклад, при роботі з клітиною під мікроскопом, робоче поле якого не перевищує 1-2 мм, направляюча працює на відрізок довжиною 0,5-2 мм. На рис. 5 приведено графік залежності кутових переміщень від величини лінійного переміщення на відрізок довжиною 1 мм в трьох точках робочого діапазону направляючої: на початку на відрізок 0,5-1,5 мм, в середині на ділянці від 4,5 до 5,5 мм та в кінці – 8-9 мм.

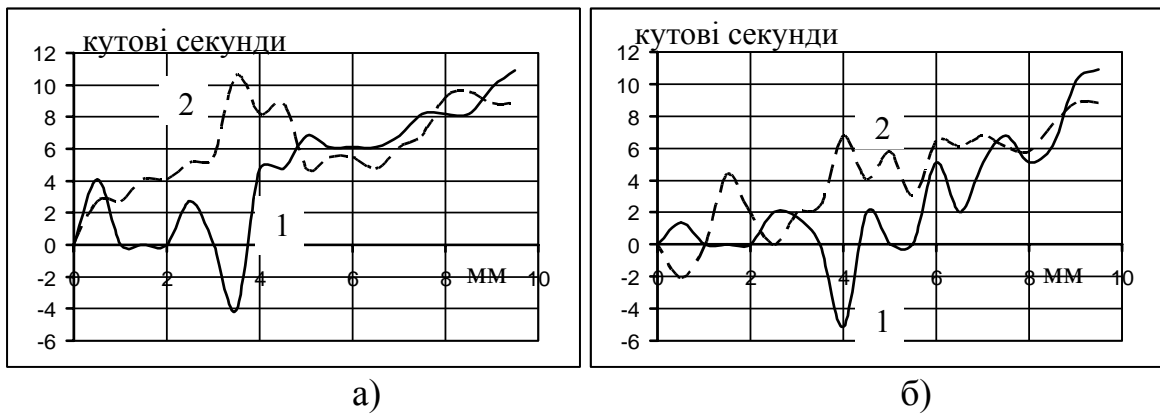


Рис. 4. Залежність кутових відхилень від величини переміщення: а) прямий напрямок ходу; б) зворотній напрямок ходу. 1 -Yaw; 2 - Pitch.

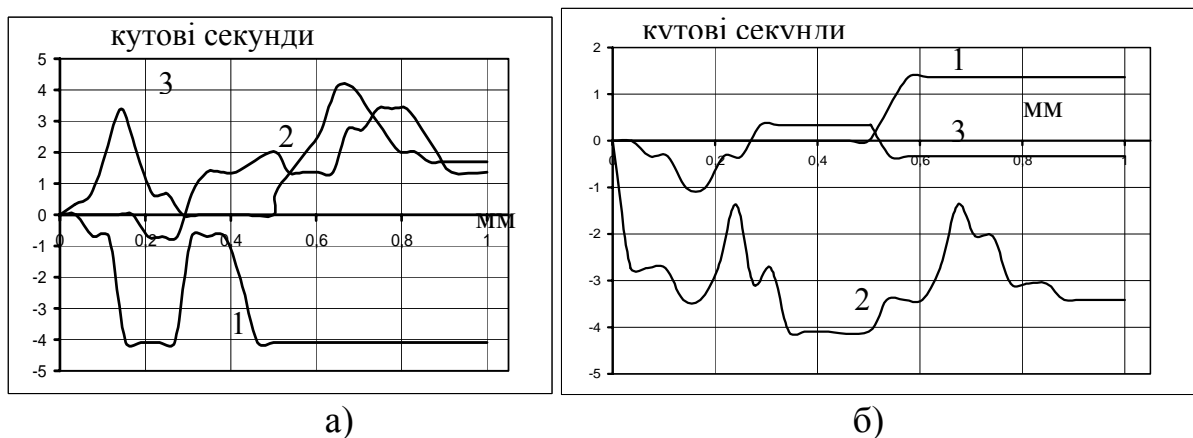


Рис. 5. Залежність кутових відхилень від величини переміщення: а) Yaw; б) Pitch; 1 – на початку; 2 – в середині; 3 – в кінці.

Як видно з рисунку залежності кутових переміщень від величини лінійного переміщення мають коливальний характер, як для кутових переміщень Pitch, так і Yaw. Характер цих коливань випадковий і відрізняється один від одного. При цьому можна відзначити, що особливо різкі відхилення, які відповідають куту Yaw спостерігаються на початку та в кінці робочого діапазону, на відміну від відхилень Pitch, які на початку та в кінці діапазону мають більш гладкий характер, а наявність максимумів і мінімумів спостерігається в середині діапазону. Крім того, можна помітити поступовий підйом чи опускання кривої, що характеризує захил рухливого столика вверх-вниз, або вліво-вправо. Так, наприклад, при переміщенні лінійної направляючої з п'єзоелектричним двигуном на 10 мм можна реєструвати кути з точністю до 0,5 кутових секунд відносно шкали лінійних переміщень з дискретом 0,125 мкм.

Отже, наявність різких захилів Pitch та Yaw негативно впливає на позиціювання лінійної направляючої, вносить неточності в переміщення, впливає на появу таких явищ, як мертвий хід та гістерезис. Тобто, при роботі з такою направляючою виникає ризик пошкодження біологічного об'єкту, та навіть його загибель.

## **Висновки**

Запропонована в роботі методика вимірювання кутових відхилень лінійної направляючої з п'єзоелектричним двигуном від прямолінійності ходу дає можливість безперервно реєструвати кути Pitch ( $\theta_y$ ) та Yaw ( $\theta_z$ ) відносно лінійної координати в процесі переміщення направляючої з п'єзоелектричним двигуном, і дозволяє проводити контроль та вимірювання відхилення переміщень мікрооб'єктів від заданої траєкторії в будь-який момент руху. Завдяки наведеному методу можна контролювати різноманітні лінійні направляючі з п'єзоелектричним двигуном, для визначення їх точності та можливості їх застосування для проведення конкретних мікрооперацій.

Актуальною надалі залишається задача створення комплексної методики для визначення точності лінійних і кутових переміщень лінійної направляючої з п'єзоелектричним двигуном.

## **Література**

1. Automated Piezoelectric Nanopositioning Systems, IEEE Circuits & Devices Magazine, November/December 2006.
2. Nanorobot-6AX – Bench Top Robotic Nanopositioning System DTI-Nanotech August 2006.
3. Definition of Axes and Angles. Physik Instrumente (PI), Germany 2004. - С.7.5-7.11.
4. V. Zhelyaskov, M. Broderick, A. Raphaelovitz, B. Davies, "Long Travel Ranges And Accurate Angular Movement Create New Opportunities In Biomedical Manipulation Systems", Ieee Circuits & Devices Magazine, 2006, Nov/Dec, 75-78.
5. Контроль оптико-механических приборов: Учеб. пособие для средних ПТУ / Фатыхова Р.К., Фатыхов Р.Ф., Кравцов Э.А. – М.: Машиностроение, 1988. – С. 141-143.
6. Белова А.В. Дослідження параметрів кутового руху прецизійної лінійної направляючої з п'єзоелектричним двигуном обертового руху. // Сб. Новые технологии и ресурсо- и энергосбережения: Материалы научно-технической конференции, г. Одесса.-Киев: АТМ України, 2007.– С.13 - 15.

<b>Белова А.В. Измерение угловых перемещений линейных прецизионных направляющих.</b>	<b>Belova A.V. Measurement of angular movements of the linear precision direct.</b>
Работа посвящена разработке методики измерения угловых перемещений Pitch и Yaw, которые возникают при линейном перемещении вдоль оси перемещения линейных прецизионных направляющих микроманипуляторов. Для измерения таких перемещений использовали систему на базе автоколлиматора, соединенного с телевизионной камерой. Получены зависимости угловых отклонений Pitch и Yaw от величины перемещения для линейных направляющих микроманипуляторов.	Work is devoted design of a measurement technique of angular movings Pitch and Yaw, which arise at linear moving along an axis of moving of linear precision direct of a micromanipulators. For measurement of such movings of the linear direct used system on base of an autocollimator, connected to the television camera. Dependence of angular deviations Pitch and Yaw from size of moving for linear direct of the micromanipulators are received.

*Надійшла до редакції  
22 жовтня 2007 року*